

*Д. В. Козырев, О. С. Пташкина-Гирина*

Южно-Уральский государственный аграрный университет,

г. Челябинск

[dmitros.kovarne@gmail.com](mailto:dmitros.kovarne@gmail.com)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В СКВАЖИНЕ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

*В статье приведены основные параметры для конструирования теплообменников-испарителей теплонасосных установок. Рассмотрены виды грунтов, типы инфильтрации влаги в них, пример статического теплообмена для скважины, наполненной водой.*

*Ключевые слова: альтернативная энергетика, тепловые насосы, система отопления, испаритель.*

*D. V. Kozyrev, O. S. Ptashkina-Girina*

South-Ural State Agrarian University, Chelyabinsk

## RESEARCH OF HEAT EXCHANGE IN A WELL WHEN THE HEAT PUMP UNIT IS OPERATING

*The article describes the main parameters for the design of heat exchangers-evaporators of heat pump units. The types of soils, types of moisture infiltration in them, an example of static heat transfer for a well filled with water are considered.*

*Keywords: alternative energy, heat pumps, heating system, evaporator.*

Эффективность работы теплонасосных установок (ТНУ) напрямую зависит от эффективности работы источника низкопотенциального тепла (НПТ). Создание оптимального режима работы источника НПТ является важной задачей при проектировании низкотемпературных систем отопления как жилых, так и производственных помещений [3]. Создание простых и удобных инженерных методов расчёта мощности источника НПТ в условиях

Южного Урала позволит увеличить качество проектирования теплонасосных установок.

Существует множество источников низкопотенциального тепла, такие как: грунт, геотермальные источники, воздух, сточные воды, использование ТНУ совместно с солнечными коллекторами и т. д. Рассмотрим в качестве источника НПТ вертикальную скважину (рис. 1). Скважины, как источник низкопотенциального тепла, стоят на втором месте после воздушных теплообменников, являются хорошим источником теплоёмкого теплоносителя, но сложны для изучения процессов тепломассообмена в них [3].

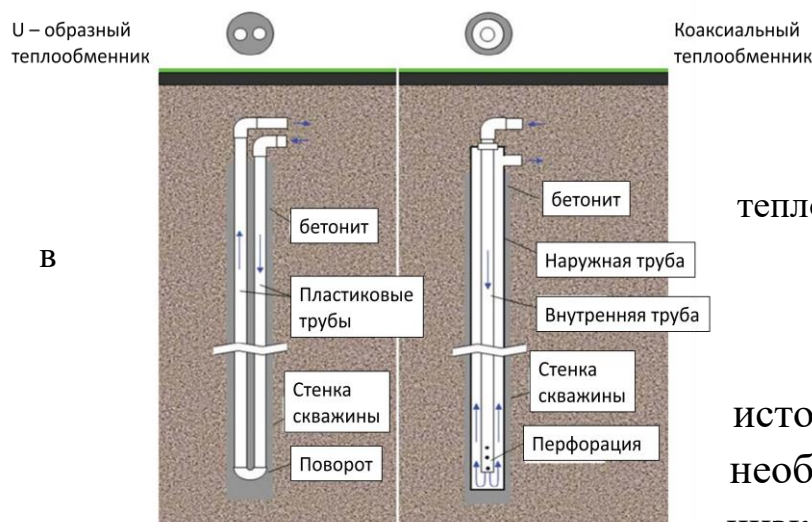


Рис. 1. Конструкция теплообменников, используемых скважинах

Получение тепла от источника подразумевает необходимость низкотемпературного

теплообменного контура. Такие устройства могут быть выполнены как U-образные и коаксиальные теплообменники с косвенным или прямым отбором тепловой энергии.

Основным параметром для расчета конфигурации источника НПТ является его удельная тепловая мощность. Тепловая мощность зависит от множества факторов, таких как: тип скважины, влажность грунта, структура грунта, расход грунтовых вод.

*Тип скважины.* Скважина может быть заполнена водой, что является наилучшим вариантом, т. к. вода — прекрасный теплоноситель. Большой расход грунтовых вод через скважину обеспечивает тепловую мощность источника. Незаполненные водой скважины заливают специальным теплопроводным раствором бетона, такие решения не обеспечивают большой мощности и часто

используются в составе грунтовых теплообменников, покрывающих большую площадь [3].

*Влажность грунта.* Тепловая мощность зависит от влажности грунта, в котором находится скважина. Теплопроводность влажного грунта намного больше, чем сухого, таким образом, теплообмену подвержен большой объём грунта.

*Структура грунта.* Интенсивность инфильтрации и движения жидкостей в грунте

зависит от его структуры (рис. 2)

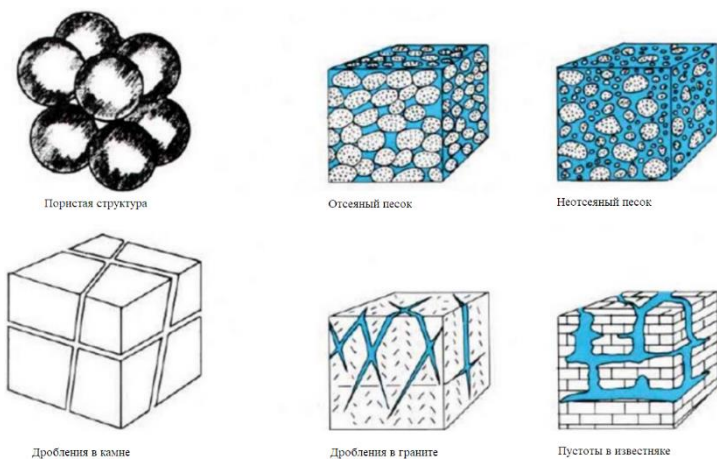


Рис. 2. Структура грунта

*Расход грунтовых вод.* Движение

грунтовых вод в слоях

грунта обусловлена рельефом местности, типом грунта и происходит от возвышенностей к впадинам [3].

Необходимая тепловая мощность позволяет определить протяжённость и количество скважин, необходимых для теплоснабжения потребителя, но расчет данного параметра невозможен без моделирования процессов, происходящих в источнике.

В общем виде, для моделирования процессов, происходящих в источнике НПТ, используется уравнение теплопроводности [1]

$$\alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (1)$$

В случае скважины его вариант в полярных координатах

$$\alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (2)$$

Нахождение частного решения этого дифференциального уравнения является задачей моделирования процессов тепломассообмена [1].

В нашем случае, для упрощения расчетов, рассматривается один из методов моделирования теплообмена: задача Дирихле для

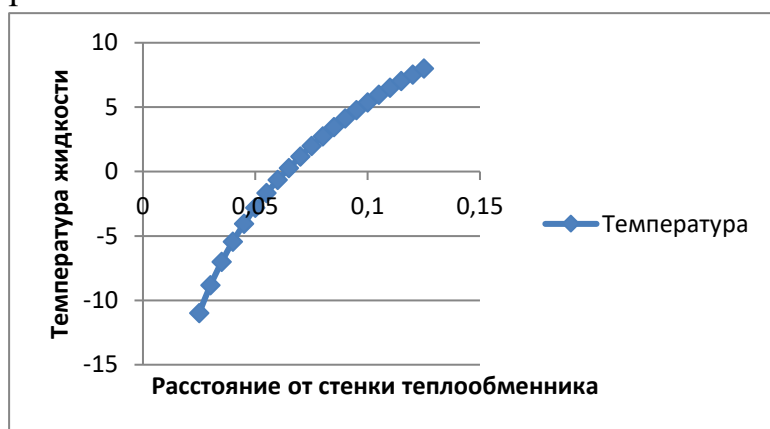
бесконечных цилиндров с осевой симметрией. Уравнение принимает вид

$$\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0. \quad (3)$$

Решением данного уравнения, при условии, что температура стенок цилиндров постоянна, является [1]

$$T = \frac{t_2 \ln \frac{r}{R_1} - t_1 \ln \frac{r}{R_2}}{\ln \frac{R_2}{R_1}}, [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

где  $T$  – температура в точке,  $t_1$  – температура первого цилиндра,  $t_2$  – температура второго цилиндра,  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы цилиндров,  $r$  – радиус точки расчёта.



В результате расчёта получаем следующую зависимость (рис. 3).

Рис. 3. Распределение температуры

Определить удельную тепловую мощность можно из уравнения [2]

$$q = -kS \frac{\partial T}{\partial r}, [\text{Вт/м}]. \quad (5)$$

Мощность, при температурах  $t_1 = -11$ ,  $t_2 = 8$  и радиусах цилиндров  $R_1 = 0,025$  м,  $R_2 = 0,125$  м, равняется 17 Вт/м для одной трубки с хладагентом. На графике (рис. 3) видна область снижения температуры до отрицательных значений, что может повлечь за собой образование льда и снижение эффективности теплообмена при малом значении расхода грунтовых вод в скважине. Математическая модель позволяет наглядно представить процессы теплообмена в источнике НПТ и учесть это при проектировании систем отопления с использованием тепловых насосов.

#### Список использованных источников

1. Араманович И. Г., Левин В. И. Уравнения математической физики. М. : Наука, 1969. 288 с.
2. Янпольский А. Р. Гиперболические функции. М. : Физматгиз, 1960. 196 с.
3. Freeze R. A., Cherry J. A. Groundwater. N. J. : Prentice-Hall, 1979. 604 p.